

# 산화제의 산소농도에 따른 메소 스케일 대향류 저신장율 화염의 소멸특성

최용운\* · 이민정\*\* · 정용진\*\* · 김남일\*†

## Low Strain Rate Flame Extinction Characteristics of Opposed Flow Flame in a Mesoscale Channel with Variation of Oxygen Ratio

Yongun Choi\*, Min Jung Lee\*\*, Yongjin Jung\*\*, Nam Il Kim\*†

### ABSTRACT

A mesoscale channel was designed to observe the flame stabilization at low strain rate conditions ( $< 10 \text{ s}^{-1}$ ). At this condition, the behavior of partially premixed flame was explored by changing a channel size and the oxygen ratio in the oxidant. In this work, experiment is conducted for propane case and it was compared with methane case of previous one. Conclusively, it can be observed that the strain rate of flame extinction and starting point of oscillation were varied with oxygen ratio. Moreover we can understand the effects of enhanced oxygen ratio of oxidant and flame behavior at low strain rate conditions.

**Key Words** : Mesoscale channel, Diffusion flame quenching, Oxygen enhanced flame, Low Strain rate

메소 스케일 연소기는 좁은 공간 내부에 존재하는 화염의 안정화 측면에서 중요한 문제로써 인식되어 왔다. 소형화된 연소기에 대한 층류이론의 적용을 위해 화염과 채널 간의 상호작용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이에 대한 대표적인 예로 Maruta [1] 등은 소염거리 이하의 좁은 관내 화염에 대해 광범위한 연구를 진행하고 있다.

본 연구 그룹에서는 메소 스케일의 채널 내부에 대향류 버너를 삽입하여, 확산화염 및 부분예혼합한 화염 조건에서 화염의 거동을 실험을 통해 확인하였고, 이에 대한 이론적 모델을 제시하였다[2-3]. 본 연구는 기존 연구를 통해 도출된 이론에 대한 검증 및 확대적용과 화염의 진동 메커니즘의 규명을 목적으로 한다. 산화제의 산소 비율 및 채널 간격을 조절하여, 부분예혼합화염에서부터 예혼합화염으로의 천이영역을 실험적으로 연구한다.

본 실험에 사용된 연소기는 그림 1에 나타내었

으며, 기존에 제시된 연구[2]와 동일한 연소기를 사용 하였다.

먼저 산화제의 산소비율을 조절하기 위해서 산소희석과 산소부하를 위해 Mass flow controller

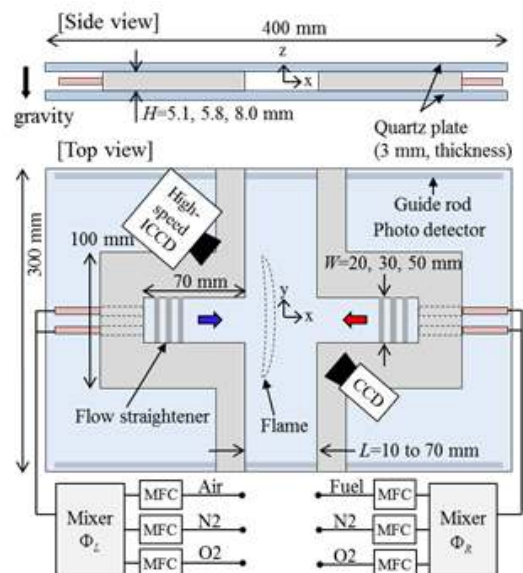


Fig. 1 Schematic diagram of counterflow burner and flow systems.

\* 한국과학기술원 기계공학과  
 \*\* 한국과학기술원 기계기술연구소  
 † 연락처, nikim@kaist.ac.kr  
 TEL : (042)350-3211

(MFC)를 이용하였다. 사용연료는 메탄(purity>99.995%), 프로판(purity>99.95%)이며, 공기는 건조기를 통과한 압축공기를 사용하였다. 그림 1에서 연소기의 왼쪽 노즐에서는 산화제가 투입되며, 오른쪽 노즐에서는 혼합조건에 따른 연료와 산화제의 혼합비가 투입된다. 실험에서 정의되는 신장율과 산화제 중의 산소농도, 혼합기의 연료공기 혼합비율을 실험 변수로 설정하였다. 먼저 산소비는 다음과 같이 정의하였다.

$$R_{Ox} = \frac{Q_{O_2, Ox}}{Q_{O_2, Ox} + Q_{N_2, Ox}} \quad (1)$$

또한 혼합기의 연료 공기 혼합비율은 당량비를 정규화하여 다음 식과 같이 정의하였다.

$$\Phi = \frac{2\phi}{\phi + 1} \quad (2)$$

본 실험에서는 산소비  $R_{Ox}=0.21$ 의 경우를 공기로 가정하였고, 산소비 0.18~0.30의 범위에서 실험을 진행하였다. 식(2)의 값은 당량비의 변화에 따라 0~2까지의 범위를 가지며, 본 연구에서는 과농예혼합화염 조건 ( $\Phi > 1$ )에서 연구가 수행되었다.

그림 2는 산소농도에 따른 화염의 소염이 발생하는 신장율을 보여주고 있다. 화염의 소염은 신장율의 감소에 따라 화염의 길이가 점차 감소하며 일어나게 된다. 이때 소염 직전에 화염의 진동이 관찰되며, 산소농도가 높아질수록 더 낮은 신장율 조건까지 화염이 안정화되는 것을 확인할 수 있었다.

또한 그림 3는 연소기의 채널 간격에 따라 화염의 진동이 발생하는 신장율을 보여준다. 채널의 간격이 넓어지면, 화염의 진동이 시작되는 신장율이 높게 형성되었는 것을 알 수 있었다.

결론적으로 산화제에서 산소비를 더 넣을 때, 화염은 더 낮은 신장율에서 소염이 일어나며, 화염진동이 시작되는 신장율은 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 임의의 신장율에서 당량비를 감소하면 특정한 조건에서 역화가 일어나는 것을 알 수 있었다. 따라서 화염의 역화가 일어나는 당량비 조건을 알 수 있었다. 또한 이 때 발생하는 역화는 역화 후 화염이 소멸되는 천이 조건에서의 역화와 입구 영역 내부로 전파되는 전형적인 역화화염을 관찰할 수 있었다.

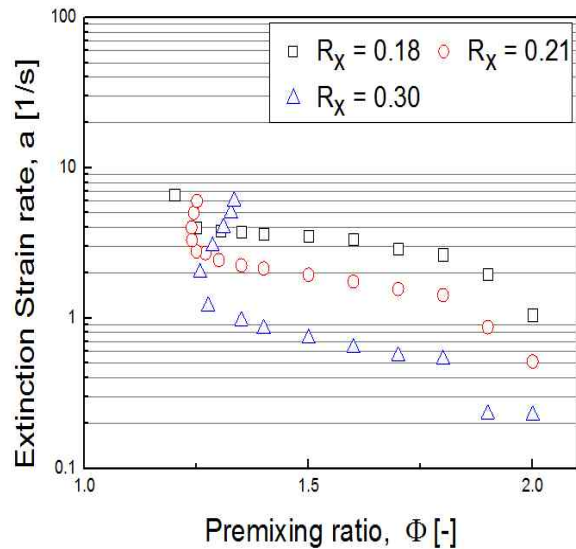


Fig. 2 Extinction strain rate for propane

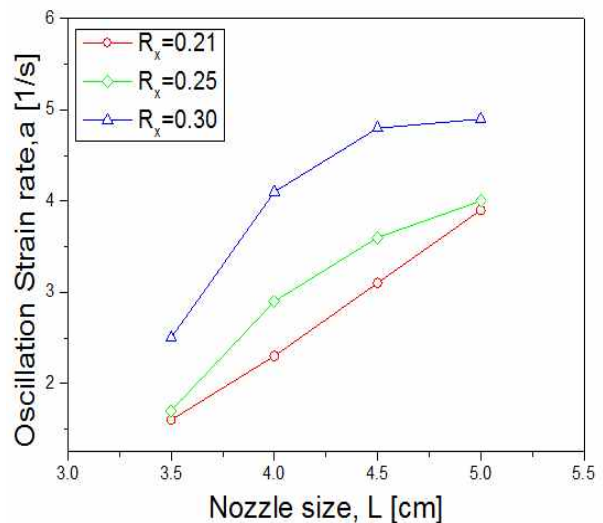


Fig. 3 Strain rate of flame oscillation by nozzle size

본 연구를 통해 산소부화 조건에서의 대향류 부분예혼합화염의 거동 특성을 살펴보았다. 아주 낮은 신장율 조건에서의 화염의 거동을 관찰할 수 있었으며, 다양한 조건에서의 화염의 거동에 관한 정보를 확인할 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2013R1A2A2A01015816).

### 참고 문헌

- [1] K. Maruta, "Micro and mesoscale combustion", Proc. Combust. Inst., Vol. 33, 2011, pp. 125-150.
- [2] M. J. Lee, N. I. Kim, "Flame structures and behaviors of opposed flow non-premixed flames in mesoscale channels", Combust. Flame, Vol. 161(3), 2014, pp. 2361-2370.
- [3] M. J. Lee, M. S. Cho, N. I. Kim, "Characteristics of opposed flow partially premixed flames in mesoscale channels at low strain rates", Proc. Combust. Inst., Vol. 35, 2014, in press.
- [4]